

Viskoelastizität: Von der DMA-Messung zum Simulationsmodell

Robert Hein, 17. April 2018



Wissen für Morgen



Challenger Katastrophe



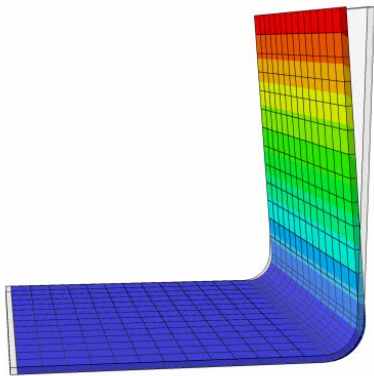
Gliederung

- Motivation- Verzug und Eigenspannungen in FVK
- Experimentelle Bestimmung der Steifigkeiten mittels DMA am Reinharz
- Bestimmung der Kompositsteifigkeiten
- Anwendungsbeispiele und viskoelastische Effekte
- Zusammenfassung und Ausblick

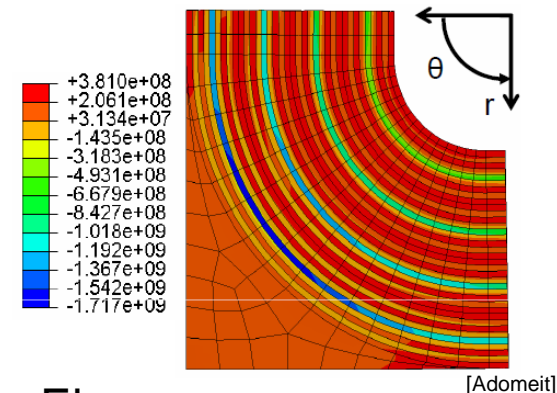
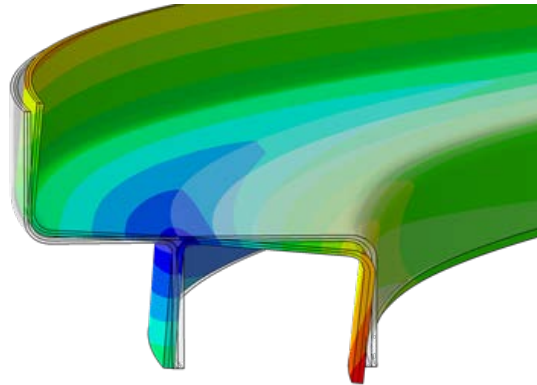


Motivation

- Fertigungsbedingte Defekte während Herstellung von faserverstärkten Kunststoffen (CFK, GFK):
 - Prozess-induzierte Deformationen (PID) erschweren Zusammenbau->Kompensation notwendig
 - Eigenspannungen reduzieren Festigkeiten und können zum vorzeitigen Versagen führen



Fertigungsbedingte Deformationen



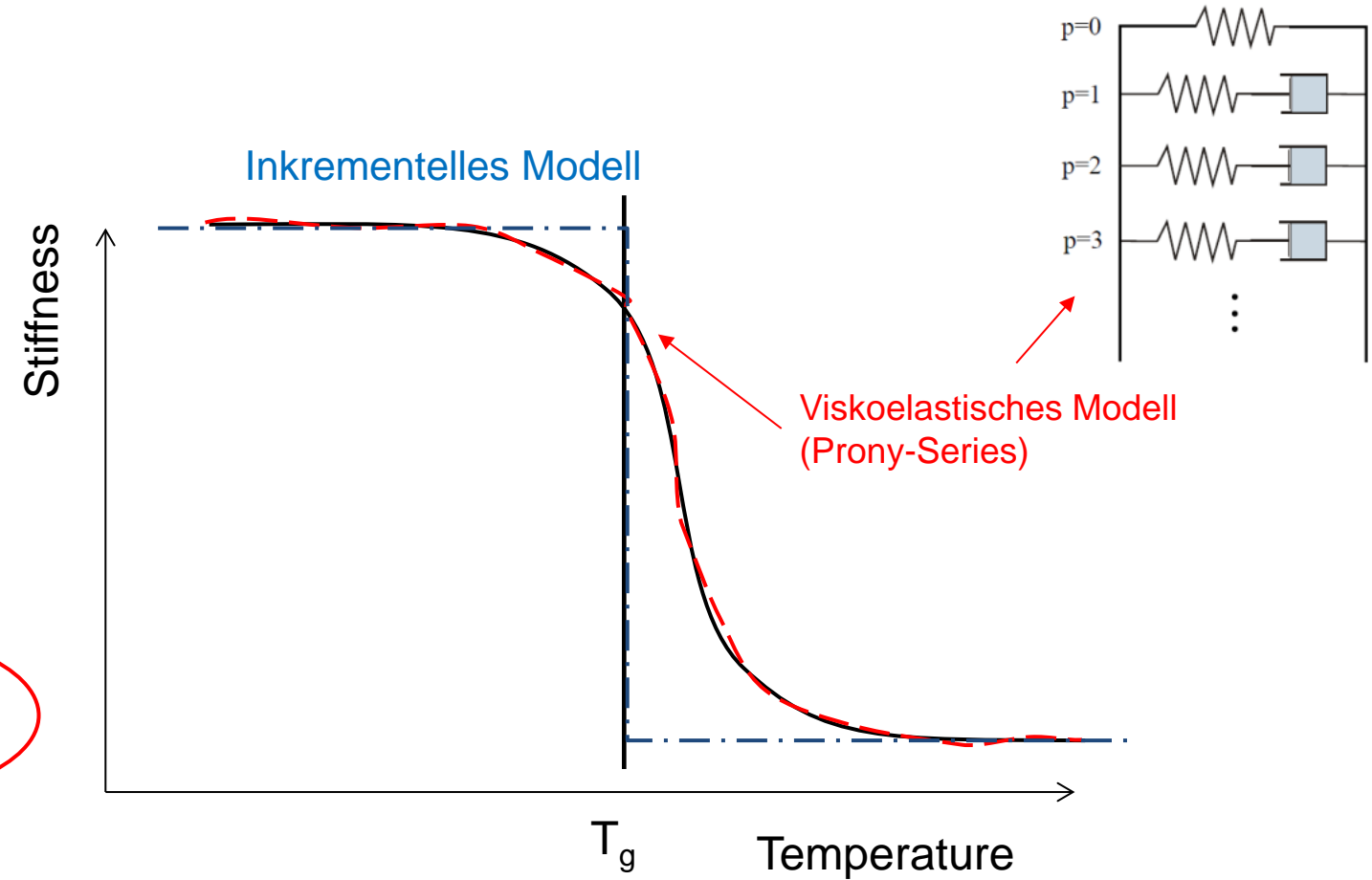
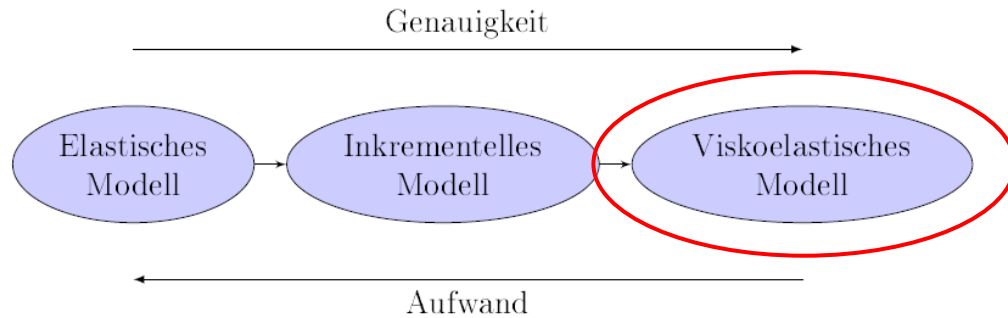
Eigenspannungen [Adomeit]

- Ziel: Vorhersage mittels Prozesssimulation und geeigneter Materialmodelle



Motivation

- Steifigkeit von Duromeren abhängig von:
 - Zeit
 - Temperatur
 - Aushärtegrad
- Prinzipielle Materialmodelle:

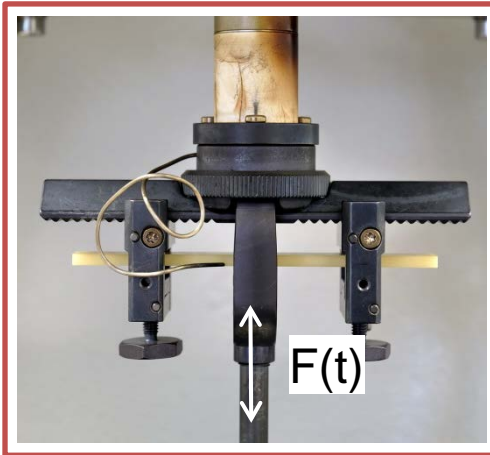


➤ Bestimmung der viskoelastischen Steifigkeiten mittels DMA



Experimentelle Bestimmung der Steifigkeiten mittels DMA am Reinharz

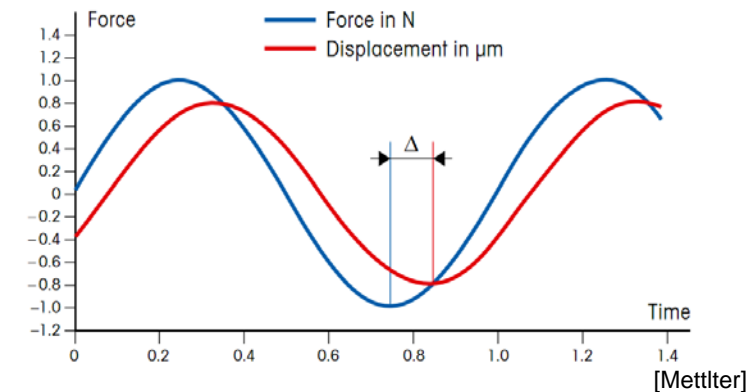
- Verschiedene Belastungsmodi möglich



- Messprinzip: Anregung mit dynamischer Kraft
- Verwendeter Frequenzbereich: 0.01Hz..50Hz
- Messfenster limitiert->Zeit-Temperatur-Superpositionsprinzip
- Untersuchter Temperaturbereich: RT bis 30°C oberhalb von T_g



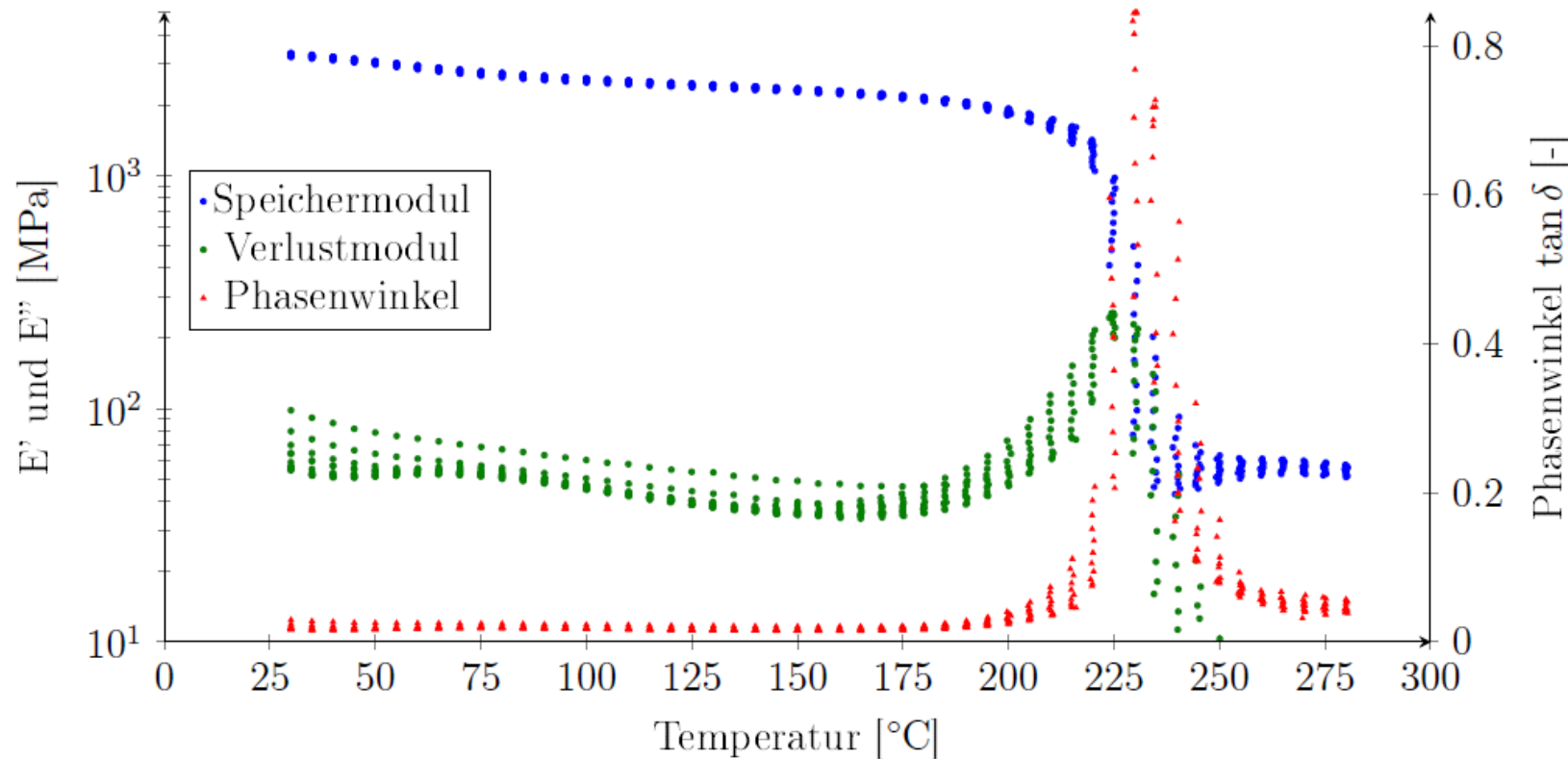
Dynamisch-mechanisches Analysegerät (DMA)



DMA-Prinzip

Experimentelle Bestimmung der Steifigkeiten mittels DMA am Reinharz

- Speicher-, Verlustmodul und Phasenwinkel als Messergebnis

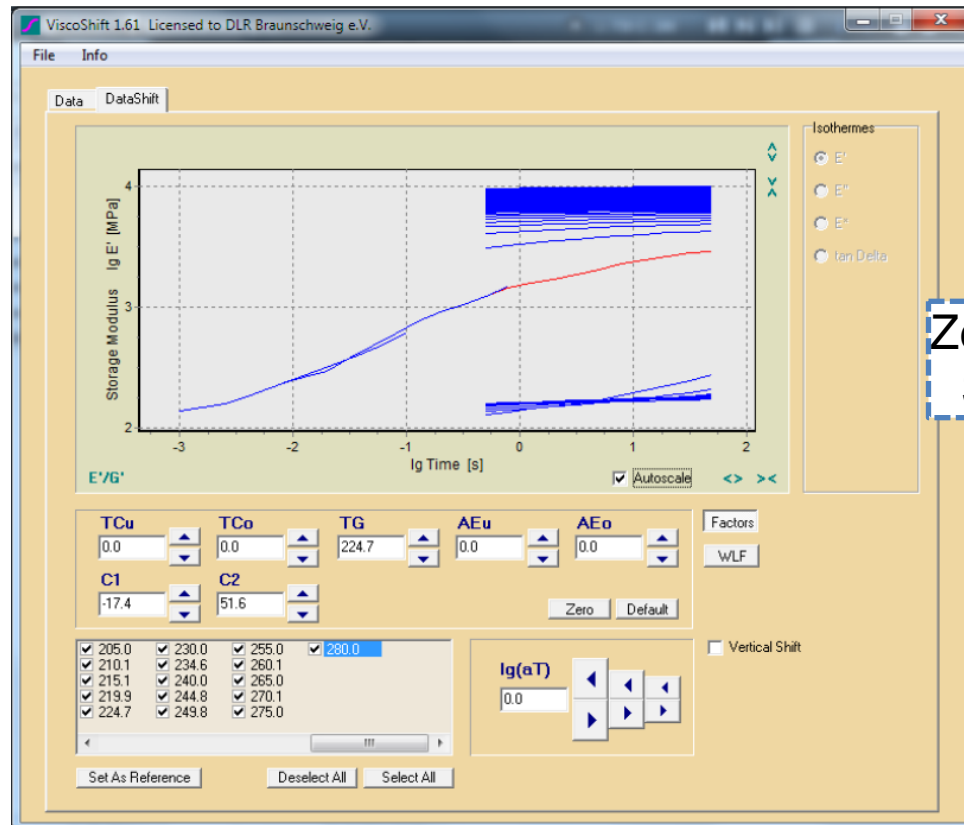


- Speichermodul nimmt um bis zu 2 Dekaden ab
- Starke Relaxationseffekte im Glasübergang
- Verlustmodul und Phasenwinkel maximal am Tg-Übergang

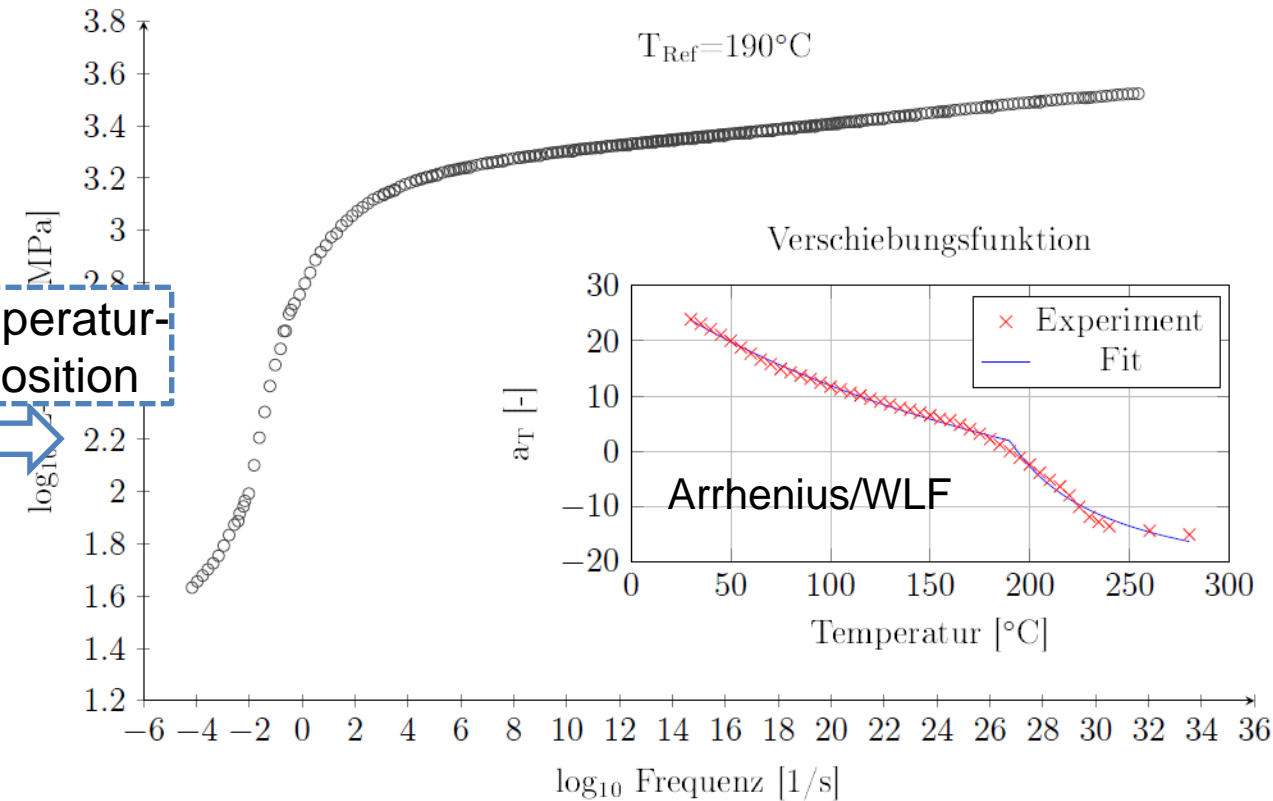


Experimentelle Bestimmung der Steifigkeiten mittels DMA am Reinharz

- Mastering der Messkurven

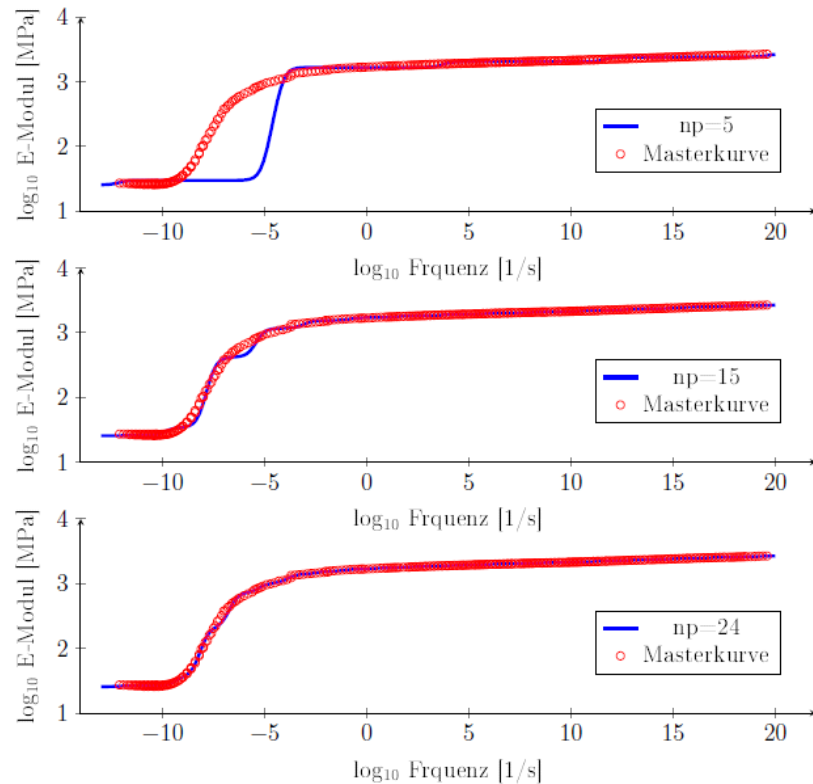


Zeit-Temperatur-
Superposition

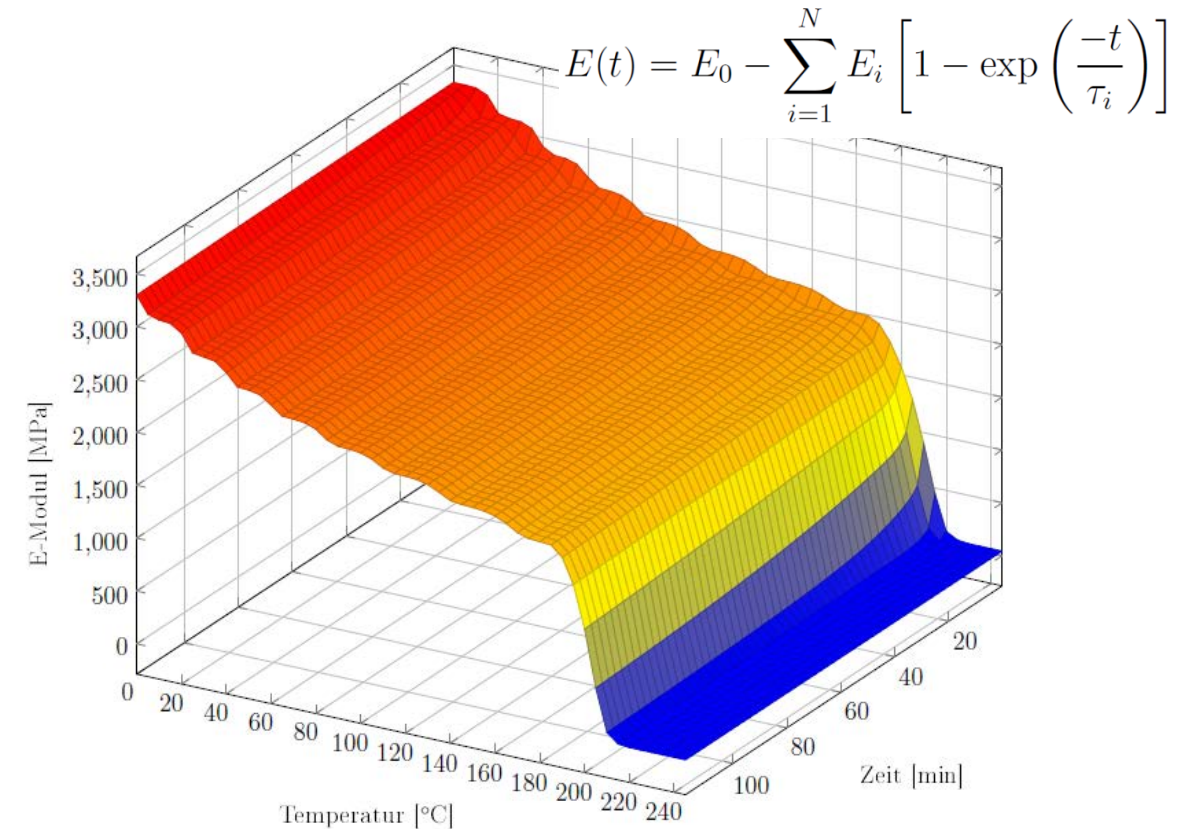


Experimentelle Kennwertbestimmung mittels DMA am Reinharz

- Fit mit Prony-Parametern
➤ 15-25 Parameter hinreichend genau

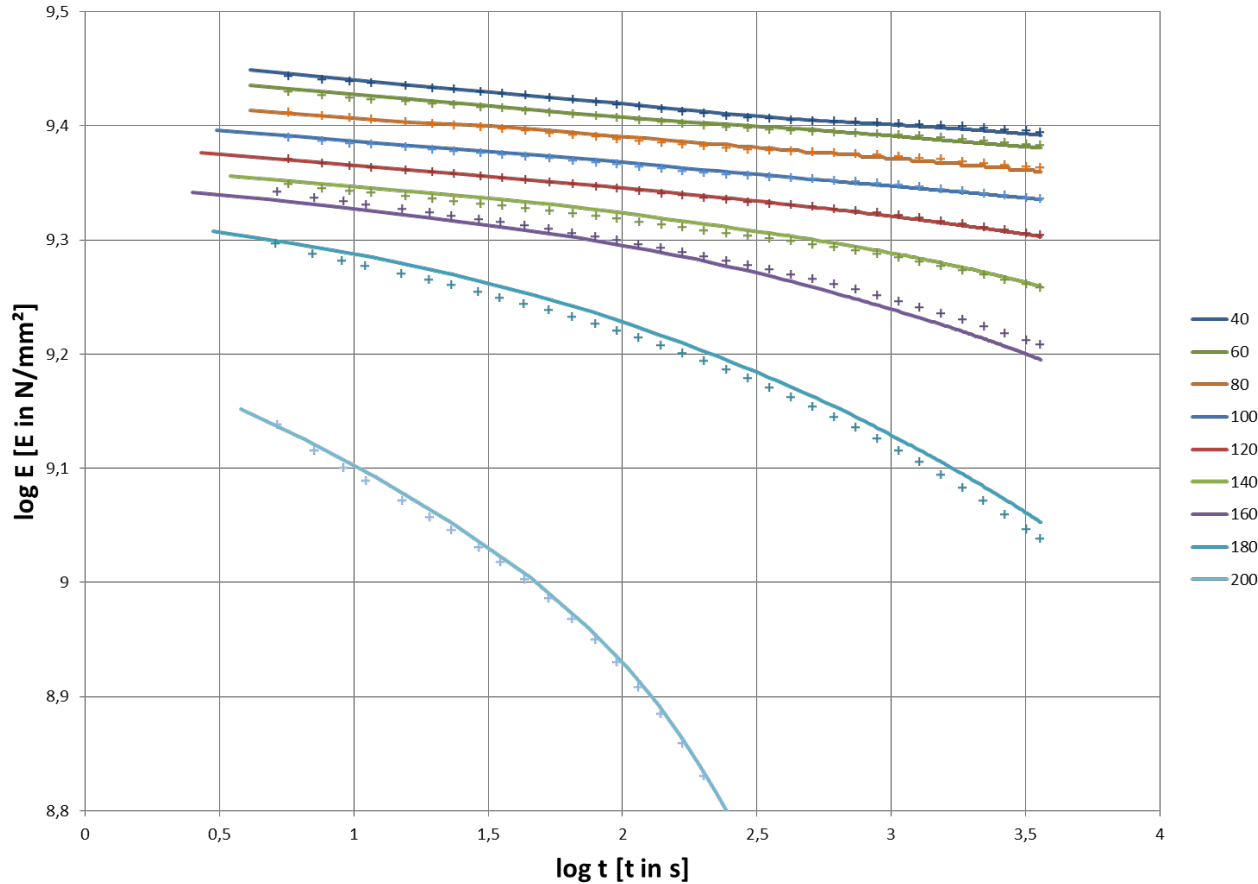


- Simuliertes Materialverhalten ($n_p=24$) in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit



Experimentelle Bestimmung der Steifigkeiten mittels DMA am Reinharz

Vergleich Relaxationsexperimente mit Simulationsergebnissen



- Reales Verhalten (Punkte) sehr gut mit Prony-Parametern (Linie) approximierbar
- Berechnungsaufwand und Genauigkeit des Fits über Anzahl der Prony-Parameter steuerbar



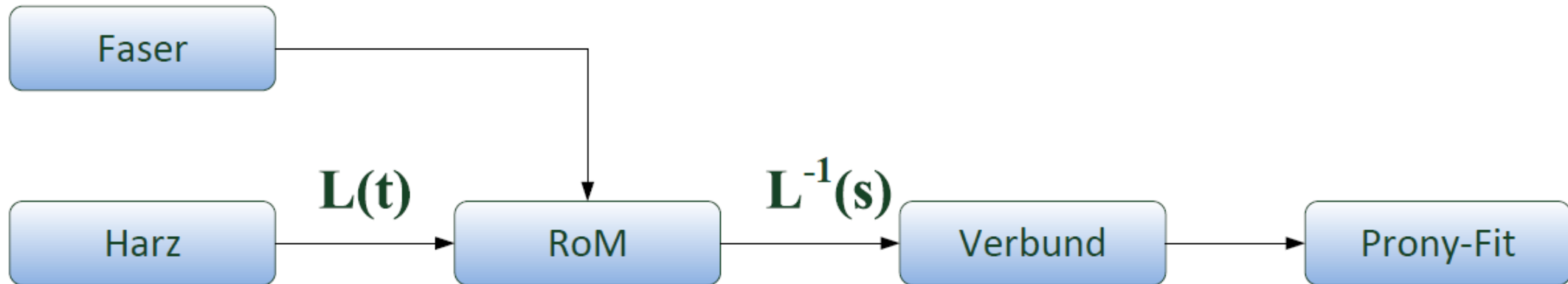
Bestimmung der Kompositsteifigkeiten

- **Vorgehensweise analog zu Reinharz, aber:**

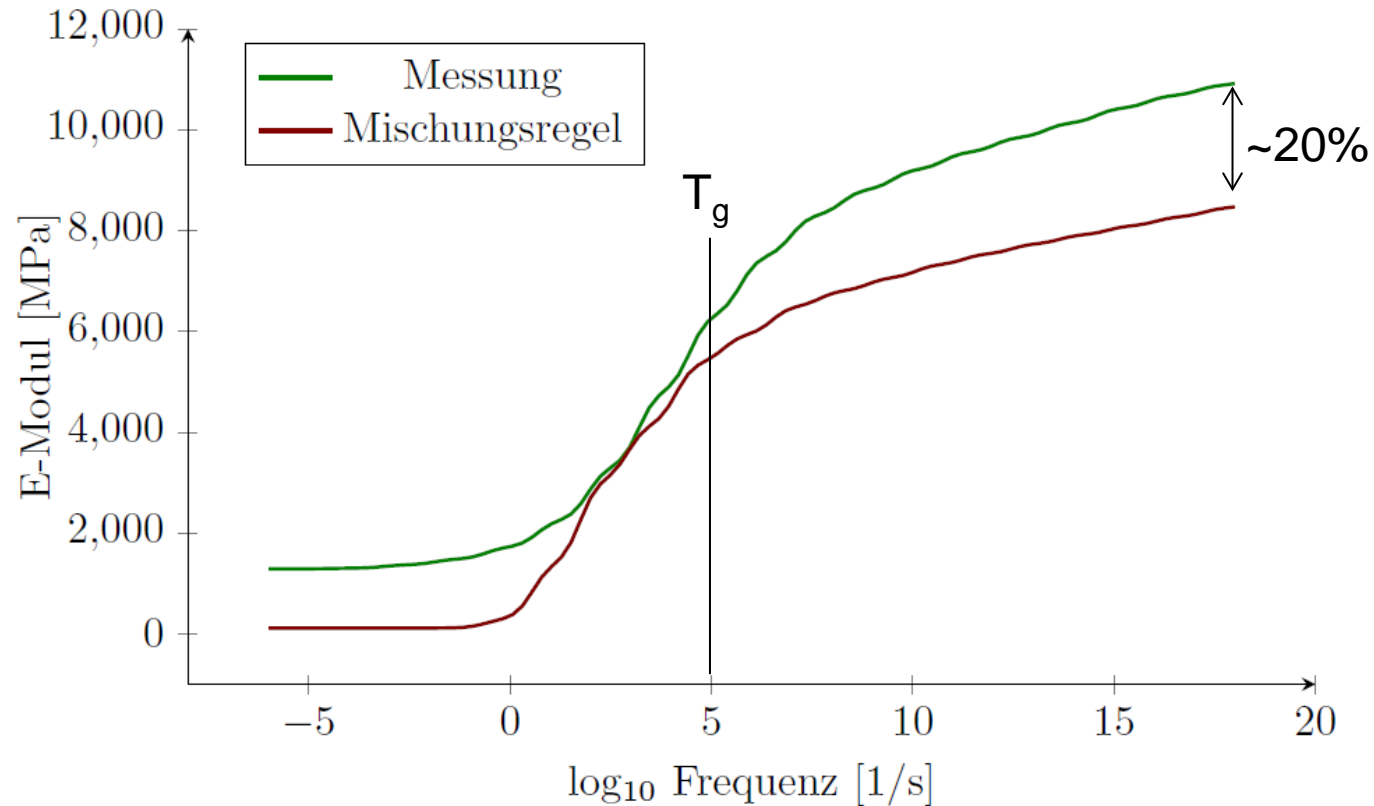
- Höhere Verbundsteifigkeiten bedingen höheren Steifigkeits- und Kraftbereich der DMA
- 3-Punkt-Biegung als Alternative: Biegemodul \neq Zugmodul
- Schubvorrichtungen (Iosipescu, Schubrahmen) nicht verfügbar für DMA

- **Alternative Bestimmung:**

- Berechnung mit Mischungsregeln (RoM) im Laplaceraum



Bestimmung der Kompositsteifigkeiten



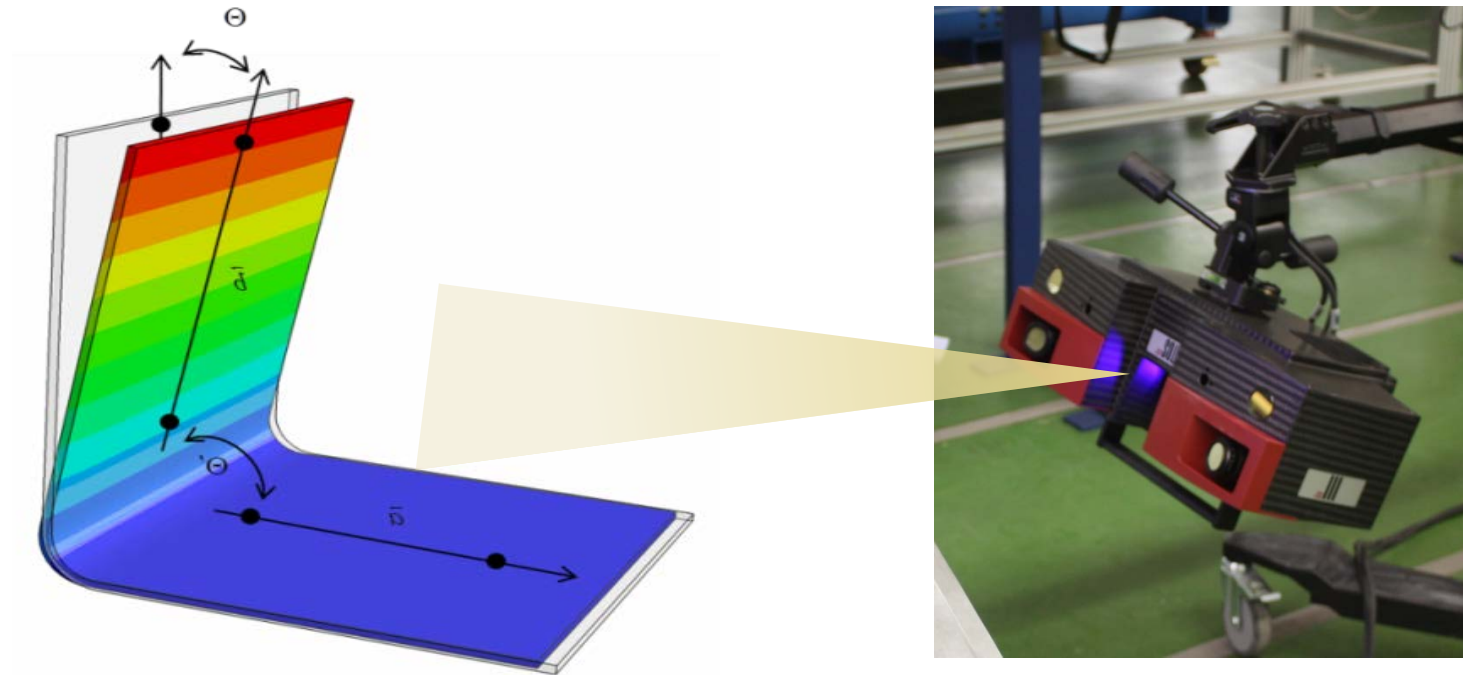
- **Vergleich der Berechnung mit gemessener Steifigkeit (Faserquerrichtung):**
 - Verlauf wird prinzipiell gut wiedergegeben
 - Je nach Mischungsregel schwanken Eigenschaften um bis zu 20%
 - Hier: Quasi-UD-Gewebe: Verstärkungsfasern in Querrichtung in Mischungsregel nicht berücksichtigt



Anwendungsbeispiele und viskoelastische Effekte

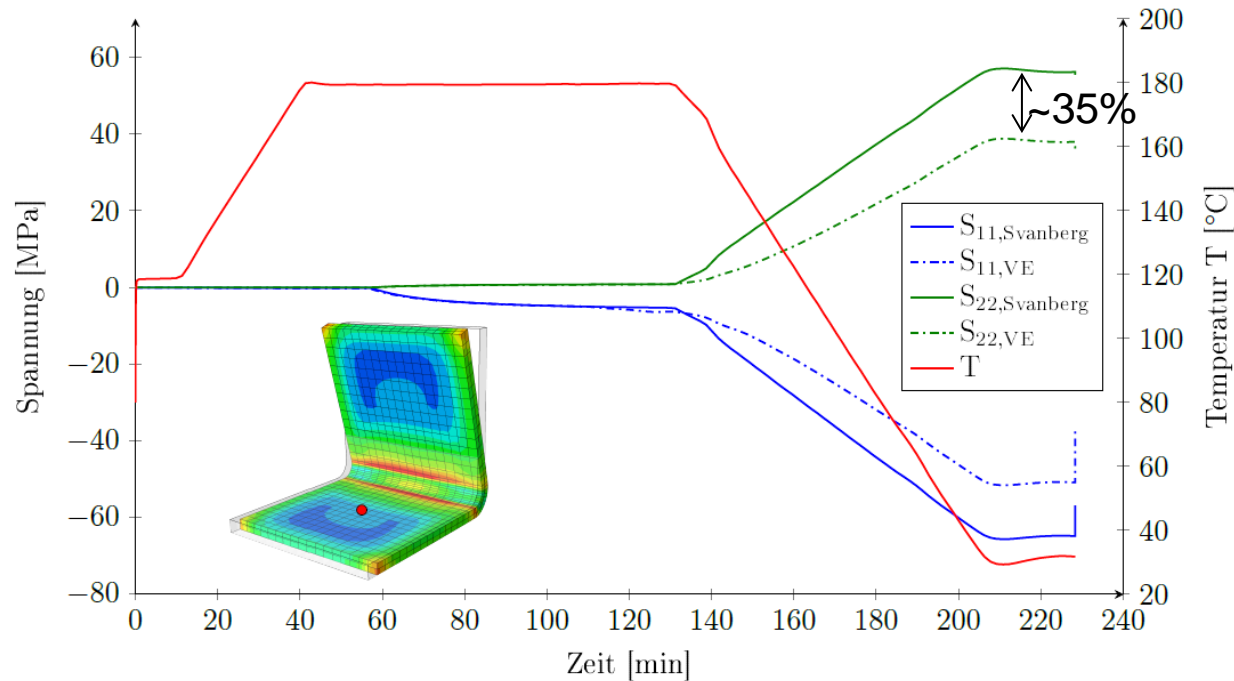
- **Vorhersagegenauigkeit Spring-in:**

- Viskoelastisches Modell (VE): 3% Abweichung zur Messung
- Inkrementelles Modell (SV): 18% Abweichung zur Messung

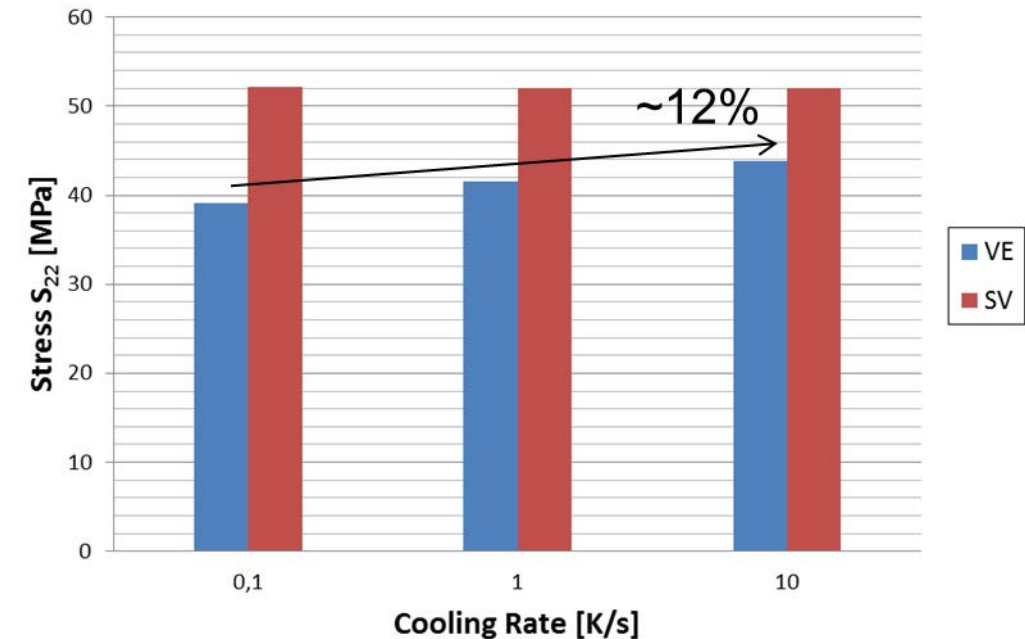


Anwendungsbeispiele und viskoelastische Effekte

- Eigenspannungen werden vom inkrementellen Modell (Svanberg) um bis zu 35% überschätzt
- Zeitabhängige Effekte wie Abkühlrate werden vom inkrementellen Modell nicht abgebildet
- Rechenzeit bei viskoelastischen Modell um bis zu 20% länger



Eigenspannungen während der Aushärtung



Einfluss der Abkühlrate auf Eigenspannungen

Zusammenfassung und Ausblick

- DMA stellt ideale Methode zur Identifizierung des viskoelastischen Materialverhaltens dar
 - Zeit-Temperatur-Superposition erlaubt Messung des Materialverhaltens über einen großen Zeitbereich in adäquater Messzeit
 - Bestimmung der Compositeigenschaften benötigt DMA mit entsprechender Steifigkeit und Kräftebereich
 - Schubsteifigkeiten sind über Laplace-Transformation und Mischungsregeln berechenbar
 - Viskoelastisches Materialmodell berücksichtigt zeitabhängige Effekte und liefert höhere Genauigkeit gegenüber inkrementellen Materialmodell
-
- Weiterentwicklung Testmethoden für hochsteife Proben
 - Weiterentwicklung Testmethoden für Bestimmung der Schubkennwerte



Kontakt

- Dipl.-Ing. Robert Hein
Email: robert.hein@dlr.de
Tel.: +49 (0) 531/ 295 3237

